

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201702027



关于 Wendt 操作对链环交叉数的 进一步结论

谭秋月¹, 孙平安², 林姝妤³

(1. 武夷学院 数学与计算机学院, 福建 南平 354300;
2. 武夷学院 实验室管理中心, 福建 南平 354300;
3. 厦门大学 数学科学学院, 福建 厦门 361000)

摘要: 研究纽结的一种解结操作——Wendt 操作对链环交叉数的影响. 计算纽结表中交叉指标不超过 10 的纽结, 以及交叉指标不超过 9 的 2 分支链环的拟解结数, 得到 Wendt 操作对这类链环的交叉数减二的结论. 最后, 通过投影图给予证明.

关键词: 纽结; 链环; Wendt 操作; 解结数; 交叉指标

中图分类号: O 157.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2017)02-0276-05

Further Conclusion of Crossing Number of Links Based on Wendt Operation

TAN Qiuyue¹, SUN Ping'an², LIN Shuyu³

(1. School of Mathematics Science and Computer, Wuyi University, Nanping 354300, China;
2. Laboratory Management Center, Wuyi University, Nanping 354300, China;
3. School of Mathematical Sciences, Xiamen University, Xiamen 361000, China)

Abstract: The effect of a single splitting operation, Wendt operation on the crossing number of the link diagrams is researched. We calculate the Quasi-splitting number of these two numbers for knots, which are with crossing number no more than 10, and with crossing number no more than 9 and 2-component links in the Knot table. One conclusion is that the Wendt operation can make the crossing number of these link diagrams minus two. In the last, we give a strict graph-theoretical proof by the projection drawings.

Keywords: knot; link; Wendt operation; unknotting number; crossing number

1 基本定义和引理

三维空间中, 不与自己相交的连通分段线性闭曲线称为纽结, 而由有限条既不自交也不互交的连通的分段线性闭曲线构成的空间图形称为链环. 只要投影方向选取适当, 总可使链环的平面投影图的自交点全部为二重点. 为了反映产生二重点的弧线在三维空间的上下情况, 用断开的弧线表示下线, 用连续的弧线表示上线. 这样二重点就变成了交叉点, 以线的虚实表现交叉的情况, 就得到链环的投影图. 一个链环投影图称为可分离的, 若它是由多个无公共交叉点链环投影图构成的, 一个链环只有一个分离投影

收稿日期: 2017-02-14

通信作者: 谭秋月(1980-), 女, 副教授, 主要从事图论、离散数学的研究. E-mail: tqyspa@163.com.

基金项目: 福建省教育厅科技项目(JA1551); 福建省大学生创新创业训练计划项目(201510397029); 武夷学院科研基金资助项目(XL201409)

图,则称为不可分离或连通的.

设 K 为 S^3 中的一个纽结,在 K 的所有投影图中,交叉点最少的那个投影图上的交叉点数就称为 K 的交叉指标,其符号为 $c(K)$.

定义 1^[1] 存在一个对应 V ,给每个有向投影图 L 联系上 t 的整数系数多项式 $V(L)$,且满足以下 3 个条件. 1) 同痕不变性.若有向投影图 L 与 L' 互相同痕,它们所对应的多项式相等,即 $V(L)=V(L')$. 2) 拆接关系式为 $t^{-1} \cdot V(\times) - t \cdot V(\times) = (t^{1/2} - t^{-1/2}) \cdot V(\times)$. 其中: \times , \times 和 \times 分别代表 3 个几乎完全一样的有向投影图,只在某一个交叉点附近有画出不同的形状. 3) 标准值. 平凡纽结 \bigcirc 所对应的多项式是 $V(\bigcirc)=1$,称 $V(L)$ 为 L 的 Jones 多项式.

设 L 为一个有向链环, $V_L(t)$ 为 L 的 Jones 多项式^[2],定义 $\text{span}_v(L)$ 为 $V_L(t)$ 的最高方次与最低方次之差,即 $\text{span}_v(L)=\max \deg V_L(t)$.

在文献[3]中,Kauffman 定义了无向链环投影图的 Kauffman 尖括号多项式,假设 D 为链环无向投影图,设 $[D]=[D](A,B,d)$ 为 D 的 Kauffman 方括号多项式, $\langle D \rangle=[D](A,A^{-1},-A^2,-A^{-2})$ 为 Kauffman 尖括号多项式,定义 $\text{span}_k(D)$ 为 $\langle D \rangle$ 的最高方次与最低方次之差, $\text{span}_k(D)=\max \deg \langle D \rangle - \min \deg \langle D \rangle$. 令 L 是一个有向链环, D 为 L 的有向投影图,扭数 $\omega(D)$ 定义为 D 的全体交叉点的正负号总和,Kauffman 证明了 $V_L(t)=(-A^3)^{-\omega(D)} \langle D \rangle|_{A=t^{-1/4}}$ ^[2-3],所以有 $\text{span}_v(L)=(1/4)\text{span}_k(D)$.

引理 1^[2-4] 令 D 为一个有向链环的无向投影图,则: 1) 若 L 是连通交错链环, $c(L)=\text{span}_v(L)=(1/4) \cdot \text{span}_k(D)$; 2) 若 L 是有 $n(L)$ 个不可分分支的可分链环, $c(L)=\text{span}_v(L)-n(L)+1=(1/4) \cdot \text{span}_k(D)-n(L)+1$.

引理 2^[2,5] 令 D 为连通约化交错链环的投影图,则有: 1) $\max \deg \langle D \rangle=V+2W-2$, V 是 D 的交叉点数, W 是 B 区域数, $\langle D \rangle$ 中 A 的最高方次那一项对应的系数为 $(-1)^{W-1}$; 2) $\max \deg \langle D \rangle=-V-2B+2$, V 是 D 的交叉点数, B 是 A 区域数, $\langle D \rangle$ 中 A 的最低方次那一项对应的系数为 $(-1)^{B-1}$.

由于链环投影图与符号平面图存在着一一对应,Kauffman^[6]为符号图构建了 Tutte 多项式. 设 G 为符号图,令 $Q[G]=Q[G](A,B,d)$ 为对应 G 的 Tutte 多项式,简称为 Q -多项式.

定义 2^[6] Q -多项式是按照如下两点循环规则来进行定义的. 1) 若 E_n 是有 n 个顶点的无边图,则 $Q[E_n]=d^{n-1}$. 2) (a) 如果 e 是桥,则 $Q[G]=(A+Bd)Q[G/e]$,若 $s(e)=+$; $Q[G]=(B+Ad)Q[G/e]$,若 $s(e)=-$; (b) 如果 e 是环,则 $Q[G]=(B+Ad)Q[G-e]$,若 $s(e)=+$; $Q[G]=(A+Bd)Q[G-e]$,若 $s(e)=-$; (c) 如果 e 既不是桥也不是环,则有 $Q[G]=BQ[G-e]+AQ[G/e]$,若 $s(e)=+$; 而 $Q[G]=AQ[G-e]+BQ[G/e]$,若 $s(e)=-$.

引理 3^[6] 设 G 是符号平面图, $D(G)$ 对应 G 的链环投影图,则 $Q[G]=[D(G)]$.

设 G 是符号平面图, G 的分支对偶图 G^* 是对图 G 的每个连通分支先各自求对偶图,由这些对偶图的不交并得到的图. 注意到 G 中的边与 G^* 中的边是一一对应的,对每个边 $e \in E(G)$,在 G^* 对应着符号与之相反的 $e^* \in E(G^*)$.

引理 4 设 G 是符号平面图, G^* 为 G 对应的对偶图,则存在 $Q[G]=Q[G^*]$.

以后假设 $Q[G]=Q[G](A,A^{-1},-A^2,-A^{-2})$,图 $G=(V,E)$ 的 Tutte 多项式也可以这么定义,即 $T_G(x,y)=\sum_{F \subseteq E} (x-1)^{k(F)-1} (y-1)^{|F|-|V|+k(F)}$. 这里 $k(F)$ 是 G 生成子图 (V,E) 的连通分支数. 若符号图 G 的每条边符号均为“+”,称符号图 G 是正的;反之,每条边符号均为“-”,则称符号图 G 是负的. 使用 Tutte 多项式中的 Recipe 定理^[7]或者 Thistlethwaite 定理^[8],可以推导出引理 5.

引理 5 假设 $G=(V,E)$ 是连通图, G^+ 是基础图 G 的正图,则有 $Q[G^+]=A^{-|E|+2|V|-2} T_G(-A^{-4}, -A^4)$.

2 解结数和 Wendt 操作说明

纽结的一种解结操作——Wendt 操作,即把交叉点处上线剪开穿过下线重接,如 $\times \rightarrow \times$. 纽结 K 的解结数为 n ,如果存在纽结 K 的一个投影图,在这个投影图上 n 个交叉点做 Wendt 操作. 通过一系列 Reidemeister 变换,最终使这个纽结变为平凡纽结,并且在 K 的其他任何投影图中比 n 小的交叉点做穿

越,使它不能变成平凡纽结.

解结数的另一个等价定义,即任取纽结 K 的一个投影图,先任意选定一个交叉点做 Wendt 操作;接着,做一系列初等变化得到个新纽结的投影图;然后,在这个新的投影图上选定第二个交叉点做 Wendt 操作;再做一系列初等变化又得到个新纽结的投影图,依次进行下去,直至这个纽结变为平凡纽结.若存在纽结 K 的一个投影图,按照这个做法,只需 n 次改变交叉点就可使纽结变为平凡纽结,并且没有比 n 次更少的可能,那么,就称纽结 K 的解结数为 n . 显然,平凡纽结 $u(0_1)=0$,其他纽结的解结数均大于等于 1.

三叶结交叉指标为 3,但是只需做一次 Wendt 操作就可以变成平凡纽结,所以 $u(3_1)=1$,三叶结解结数为 1,如图 1 所示.



图 1 三叶结的 Wendt 操作
Fig. 1 Triple junction
Wendt operation

定理 1^[9] 任给一个纽结 K 的投影图,设其交叉点数为 n ,则总可以经过不超过 $\lfloor n/2 \rfloor$ 次 Wendt 操作,把它变成平凡纽结的投影图.

推论 1^[9] 设纽结 K 有一个交叉点数为 n 的投影图,则 $u(K) \leq \lfloor n/2 \rfloor$.

一般来说,很难找到纽结的解结数. 比如,纽结 8_3 在纽结表^[10]的投影图上看,解结数好像是 2,但是纽结 8_3 还有很多其他的投影图. 同样,为了证明一个复合结的解结数不可以为 1,从问题提出到找到证明也经过了 100 多年的时间. 纽结 K 的解结数 $u(K)$ 的上界可以使用相对简单的技巧计算出来,但是却很难得到确切值. Scharlemann^[11] 在 1985 年证明了解结数为 1 的纽结都是素纽结.

下面的纽结解结数图表由 Kirby^[2] 提供,其中,纽结 9_{29} 的解结数由 Kirby 证实,纽结 $10_{139}, 10_{152}$ 的解结数是由 Kawamura^[9] 得出的,纽结 9_{49} 的解结数是由 Stoimenow^[11] 用计算机计算出来的,纽结 $10_{154}, 10_{161}$ 则是 Stoimenow^[12] 通过使用 Slice-Bennequin 不等式^[13] 找到的,纽结 $10_{11}, 10_{47}, 10_{51}, 10_{54}, 10_{61}, 10_{76}, 10_{77}, 10_{100}$ 的解结数目前为止依然未知.

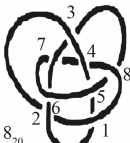
已知具有 n 个交叉指数的素纽结总个数以指数级的速度增长. 所以,文中只研究交叉指数少于 10 的纽结的解结数. 因为 $u(K)=u(K^*)$,所以不考虑手性因素.

3 结论及其证明

对素纽结表中的投影图做 Wendt 操作. 首先,在给定的纽结投影图 $K(c(K)=n)$ 的交叉点标号,按交叉点个数标上 $1, 2, \dots, n$; 然后,依照标号依次做 Wendt 操作. 对纽结 6_2 和链环 8_8^2 的 Wendt 操作结果可参考文献[14]. 对一素纽结或链环做一次 Wendt 操作,可能得到非素的纽结和链环.

例 1 链环 8_{20} 的 Wendt 操作,结果如表 1 所示.

表 1 链环 8_{20} 每个交叉点经过一次 Wendt 操作的结果
Tab. 1 Result of Wendt operation on each crossing of knots 8_{20}

	0_1	0_1	6_3	6_3	$3_1, \# , 3_1^*$	5_2	5_2	5_2
--	-------	-------	-------	-------	-------------------	-------	-------	-------

文中研究列出了交叉点数小于 10 的素纽结每个交叉点上做一次 Wendt 操作变成的新纽结,同时,列出了交叉点数小于 9 的两个分支链环,每个交叉点上做一次 Wendt 操作变成的新链环.

投影图 K 的拟解结数的定义可参考文献[14-16]. 若经过 Wendt 操作得到的纽结为非交错纽结,则存在减少 1 的情况,如交错纽结 9_{33} .

交叉点数少于 10 的交错纽结投影中,对其一个交叉点做 Wendt 操作,若得到的纽结仍然为交错纽结,则其交叉指标至少减少 2;若不是,则不然. 对交叉点数少于 9 的 2 个分支链环,此结论也成立,故这一规律在增加适当条件的基础上得到定理 2.

定理 2 令 L 为一个不可分链环, D 为对应的最约化的投影图, \bar{L} 是在 D 其中一个交叉点上做一次 Wendt 操作得到的链环,如果 \bar{L} 是交错的,那么就有 $c(\bar{L}) \leq c(L) - 2$.

证明 令 L 为连通链环, 其最约化交错投影图为 D , 因为 L 是连通的, 则 D 一定是连通的. 令 $G = G(D)$ 为对应 D 的符号平图. 不失一般性, 假设 G 是正图, 否则的话, 可以根据引理 1~4 改为研究 G^* , 因为是最约化的, 所以 G 就是无环无桥.

令 \bar{L} 是对应图 \bar{D} 的交错链环, \bar{D} 为对 D 的一个交叉点 c , 做一次 Wendt 交叉点变换得到的投影图. 因为 D 是连通的, 所以 \bar{D} 也是连通的, \bar{G} 是把 G 中对应交叉点 c 的那条边 e 的符号由“+”变为“-”得到的.

令 $\text{span}_q(\bar{G}) = \max \deg Q[\bar{G}] - \min \deg Q[\bar{G}]$, 通过引理 1 有 $c(\bar{L}) \leq \text{span}_q(\bar{L}) = (1/4) \text{span}_q(\bar{G})$, 通过定义且注意到 G 的边 e 符号是正的, 有 $Q[\bar{G}] = AQ[\bar{G}] + A^{-1}Q[G']$, $Q[G] = A^{-1}Q[G'] + AQ[G']$. 其中, $G' = G - e$, $G^* = E/e$, 从而有 $Q[\bar{G}] = A^2Q[G] + (A^{-1} - A^3)Q[G']$, 或 $Q[\bar{G}] = A^{-2}Q[G] + (A^1 - A^{-3})Q[G']$. 因为 G 是无环无桥的, 显然有, $G' = G - e$ 是无环的, $G^* = E/e$ 是无桥的.

情况 I 无环.
在这个情况下, G' 是连通无环无桥的正图. 因此, 其对应的链环投影图也是连通最约化的交错投影图. 令 H 为连通平图, $v(H)$, $e(H)$, $f(H)$ 分别定义为 H 的点数、边数和面数. 通过引理 2 可得到如下 4 点结果.

- 1) $\max \deg Q[G] = \max \deg \langle D \rangle = V + 2W - 2 = e(G) + 2f(G) - 2$, 对应的系数为 $(-1)^{f(G)-1}$;
- 2) $\min \deg Q[G] = \min \deg \langle D \rangle = -V - 2B + 2 = -e(G) - 2v(G) + 2$, 对应的系数为 $(-1)^{v(G)-1}$;
- 3) $\max \deg Q[G'] = e(G') + 2f(G') - 2 = e(G) + 2f(G) - 3$, 对应系数为 $(-1)^{f(G')-1} = (-1)^{f(G)-1}$;
- 4) $\min \deg Q[G'] = -e(G') - 2v(G') + 2 = -e(G) - 2v(G) + 5$, 则其对应的系数为 $(-1)^{v(G')-1} = (-1)^{v(G)-1}$.

由此, 还可以得到如下 4 点结果.

- 1) $\max \deg A^2Q[G] = e(G) + 2f(G)$, 对应的系数为 $(-1)^{f(G)-1}$;
- 2) $\max \deg A^2Q[G] = -e(G) - 2v(G) + 4$, 对应的系数为 $(-1)^{v(G)-1}$;
- 3) $\max \deg (A^{-1} - A^3)Q[G'] = e(G) + 2f(G)$, 对应的系数为 $(-1)^{f(G)-1}$;
- 4) $\max \deg (A^{-1} - A^3)Q[G'] = -e(G) - 2v(G) + 4$, 对应的系数为 $(-1)^{v(G)-1}$.

$A^2Q[G]$ 与 $(A^{-1} - A^3)Q[G']$ 的最大方次可互相削去, 由此得到

$$\max \deg Q[\bar{G}] \leq e(G) + 2f(G) - 4, \quad \min \deg Q[\bar{G}] \leq -e(G) - 2v(G) + 8.$$

所以有

$$\begin{aligned} \text{span}_q(G) &= \max \deg Q[G] - \min \deg Q[G] = 2e(G) + 2f(G) + 2v(G) - 4, \\ \text{span}_q(\bar{G}) &= \max \deg Q[\bar{G}] - \min \deg Q[\bar{G}] \leq \\ &2e(G) + 2f(G) + 2v(G) - 12 = \text{span}_q(G) - 8. \end{aligned}$$

由此可得, $c(\bar{L}) \leq (1/4) \text{span}_q(\bar{G}) \leq \text{span}_q(G) - 2 = c(L) - 2$.

情况 II G' 有环. 令 f 为 G' 的任一个环. 由于 G 是无环的, f 一定是 G 的边 e 的平行边, 再分两种情况讨论.

i) 如果 $G - e - f$ 是不连通的, 那么 $\bar{G} - e - f$ 也是不连通的, 所以 \bar{D} 可按图 2 所展示的分开, 把交叉点数减少 2, 定理成立.

ii) 如果 $G - e - f$ 是连通的. 首先知道 f 不是 G' 的桥. 令 $g \neq f$ 为 G' 的边, 因为 G 是无桥的, g 属于 G 中一个圈 C , 若 $e \notin E(C)$, g 属于 G' 中一个圈 C 中; 若 $e \in E(C)$, g 属于 G' 中的一个圈 $G' = C - e + f$, 所以 g 不是桥. 因此, G' 为连通无环无桥的正图, 同样由引理 2 可得到如下 4 点结果.

- 1) $\max \deg Q[G] = \max \deg \langle D \rangle = V + 2W - 2 = e(G) + 2f(G) - 2$, 对应的系数为 $(-1)^{f(G)-1}$;
- 2) $\min \deg Q[G] = \min \deg \langle D \rangle = -V - 2B + 2 = -e(G) - 2v(G) + 2$, 对应的系数为 $(-1)^{v(G)-1}$;
- 3) $\max \deg Q[G'] = e(G') + 2f(G') - 2 = e(G) + 2f(G) - 5$, 对应系数为 $(-1)^{f(G')-1} = (-1)^{f(G)-1}$;
- 4) $\min \deg Q[G'] = -e(G') - 2v(G') + 2 = -e(G) - 2v(G) + 3$, 则其对应的系数为 $(-1)^{v(G')-1} =$

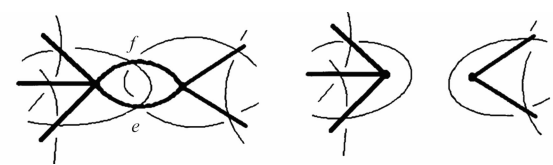


图 2 删除平行边 e 和 f 后的 G 图形变为 $G - e - f$ 图形
Fig. 2 G into figure $G - e - f$
after delete parallel sides e and f

$(-1)^{v(G)-1}.$

因此,可以得到如下 4 点结果 .

- 1) $\max \deg A^{-2}Q[G]=e(G)+2f(G)-4$, 对应的系数为 $(-1)^{f(G)-1}$;
 - 2) $\max \deg A^{-2}Q[G]=-e(G)-2v(G)$, 对应的系数为 $(-1)^{v(G)-1}$;
 - 3) $\max \deg (A^{-1}-A^{-3})Q[G']=e(G)+2f(G)-4$, 对应的系数为 $(-1)^{f(G)-1}$;
 - 4) $\min \deg (A^{-1}-A^{-3})Q[G']=-e(G)-2v(G)$, 对应的系数为 $(-1)^{v(G)-1}$.
- $A^{-2}Q[G]$ 与 $(A^1-A^{-3})Q[G']$ 的最大方次可互相削去,由此可得

$$\begin{aligned} \max \deg Q[\bar{G}] &\leqslant e(G)+2f(G)-4, \\ \min \deg Q[\bar{G}] &\leqslant -e(G)-2v(G)+4. \end{aligned}$$

所以有

$$\begin{aligned} \operatorname{span}_q(\bar{G}) &= \max \deg Q[\bar{G}] - \min \deg Q[\bar{G}] \leqslant \\ &2e(G)+2f(G)+2v(G)-12 = \operatorname{span}_q(G)-8. \end{aligned}$$

因此有, $c(\bar{L})\leqslant(1/4)\operatorname{span}_q(\bar{G})\leqslant\operatorname{span}_q(G)-2=c(L)-2$. 定理证毕.

参考文献:

[1] SCHARLEMANN M G. Unknotting number one knots are prime[J]. Invent Math,1985,82(1):37-55.

[2] KAUFFMAN L H. State models and the Jones polynomial[J]. Topology,1987,26(3):395-407.

[3] MURASUGI K. Jones polynomials and classical conjectures in knot theory[J]. Topology,1987,26(2):187-194.

[4] THISTLETHWAITE M B. A spanning tree expansion of the Jones polynomial[J]. Topology,1987,26(3):297-309.

[5] KAUFFMAN L H. New invariants in the theory of knots[J]. Amer Math Monthly,1988(95):195-242.

[6] KAUFFMAN L H. A Tutte polynomial for signed graphs[J]. Discrete Appl Math,1989,25(1/2):105-127.

[7] BONDY J A, MURTY U S R. Graph theory and its applications[M]. London: The Macmillan Press Ltd,1976:1-40.

[8] KIRBY R. Problems in low-dimensional topology[C]//Georgia Topology Conference. Providence:[s. n.],1996:35-473.

[9] KAWAMURA T. The unknotting number of 10_{139} and 10_{152} are 4[J]. Osaka J Math,1998,35(3):539-546.

[10] ADAMS C C. The knot book[M]. New York: American Mathematical Society Providence Ri,1994:307.

[11] STOIMENOW A. Polynomial values, the linking form, and unknotting numbers[J]. Math Res Lett,2004,11(5/6):755-769.

[12] STOIMENOW A. Positive knots, closed braids and the Jones polynomial[J]. Annali Della Scuola Normale Superiore Di Pisa Classe Scienze,1998,2(2):237-285.

[13] JONES V F R. A polynomial invariant for knots via von Neumann algebras[J]. Bull Amer Math Soc,1985,12(1):103-111.

[14] 谭秋月,孙平安,林姝妤. Wendt 操作对纽结和链环影响的若干规律[J]. 石家庄学院学报,2015,17(6):61-66.

[15] 李景文,吕楠,陆妍玲,等. 对象化 BR-TIN 模型三维地理信息组织方法[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2015,36(4):383-387.

[16] 汪秋分,宋海洲. 图的拉普拉斯谱半径对应的特征向量性质及其应用[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2014,35(1):107-111.

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 黄心中)

福建省高校学报关于联合抵制学术不端行为的声明

近年来,高校学报作者在投稿中屡有学术不端行为发生,如抄袭剽窃,篡改他人学术成果,伪造注释,伪造或篡改数据、文献,捏造事实等.这些无视学术道德与操守的不端行为,不仅违反了国家的有关法律、法规,而且给编辑工作造成了极大困扰,损害了学报的学术声誉,严重败坏了学风,在学术界乃至社会上造成恶劣影响.为倡导优良学风,规范学术行为,净化学术空气,维护作者和刊物的权益,促进福建省高校学报的健康发展,根据《教育部关于严肃处理高等学校学术不端行为的通知》(教社科[2009]3号)及国家有关法律、法规,结合福建省高校学报的实际,我们共同发表如下郑重声明:

一、从本声明公布之日起,凡向本声明签署学报的任何一家投稿,作者均须严格遵守《中华人民共和国著作权法》等国家有关法律法规,来稿如出现以下任何一种情况:抄袭剽窃,篡改他人学术成果,伪造或篡改数据、文献,捏造事实,虚假注释等,一经发现,立即撤稿.

二、对由于抄袭剽窃等不端行为造成严重后果者,有关学报将在刊物上对其不端行为进行公开曝光,通知当事人所在单位,并保留对其追究法律责任和经济责任的权利.

三、凡被发现严重学术不端行为者,本声明签署学报将相互通报情况,5年内将共同拒绝刊发其任何文章.

四、欢迎知情者举报学术不端行为,对举报者将予以保密.

福建省高校学报全体同仁愿与广大作者、读者一道,为共同构建公平合理、规范健康的学术平台而不懈努力.

共同签署学报(排名不分先后)

厦门大学学报(哲社版)	漳州师范学院学报(自然版)	福建广播电视大学学报
厦门大学学报(自然版)	泉州师范学院学报	福建商业高等专科学校学报
福州大学学报(自然版)	闽江学院学报	微分方程年刊
福建师范大学学报(哲社版)	莆田学院学报	亚热带资源与环境学报
福建师范大学学报(自然版)	福建工程学院学报	福建师大福清分校学报
福建农林大学学报(自然版)	中共福建省委党校学报	福建财会管理干部学院学报
福建林学院学报	龙岩学院学报	海峡法学
福建农林大学学报(社科版)	三明学院学报	福州党校学报
华侨大学学报(自然版)	厦门理工学院学报	数学研究
华侨大学学报(哲社版)	武夷学院学报	体育科学研究
集美大学学报(自然版)	福建行政学院学报	厦门广播电视大学学报
集美大学学报(哲社版)	闽西职业技术学院学报	厦门教育学院学报
集美大学学报(教育版)	宁德师专学报(自然版)	漳州职业技术学院学报
福建医科大学学报(自然版)	宁德师专学报(哲社版)	福建信息技术教育
福建医科大学学报(社科版)	福建省社会主义学院学报	福建交通科学
福建中医学院学报	福建金融管理干部学院学报	教育探究
漳州师范学院学报(哲社版)	福建警察学院学报	华侨高等教育研究

- 《中文核心期刊要目总览》
- RCCSE 中国核心学术期刊
- 中国期刊方阵“双效期刊”
- 中国科技论文在线优秀期刊
- ISTIC 中国科技核心期刊
- 全国优秀科技期刊
- 华东地区优秀期刊

本刊被以下国内外检索期刊和数据库列为固定刊源

- 美国《化学文摘》(CAS)
- 波兰《哥白尼索引》(IC)
- “STN 国际”数据库
- 中国科学引文数据库
- 中国科技论文统计期刊源
- 中国学术期刊(光盘版)
- 中文科技期刊数据库
- 中国力学文摘
- 中国生物学文摘
- 中国数学文摘
- 俄罗斯《文摘杂志》(AJ, VINITI)
- 荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)
- 德国《数学文摘》(Zbl MATH)
- 中国学术期刊综合评价数据库
- 中国期刊网
- 万方数据库
- 中国机械工程文摘
- 中国化学化工文摘
- 中国无线电电子学文摘
- 中国物理文摘

华侨大学学报(自然科学版)

Huaqiao Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)

(双月刊, 1980 年创刊)

第 38 卷 第 2 期 (总第 154 期) 2017 年 3 月 20 日

JOURNAL OF HUAQIAO UNIVERSITY

(NATURAL SCIENCE)

(Bimonthly, Started in 1980)

Vol. 38 No. 2 (Sum. 154) Mar. 20, 2017

主管单位: 福建省教育厅

主办单位: 华侨大学

(中国福建泉州 362021)

(中国福建厦门 361021)

编辑出版: 华侨大学学报自然科学版编辑部

电话: 0595-22692545
电子信箱: journal@hqu.edu.cn
网址: www.hdxh.hqu.edu.cn

主 编: 乌 东 峰

印 刷: 泉州晚报印刷厂

国内发行: 福建省泉州市邮政局

订 购 处: 全国各地邮政局(所)

国外发行: 中国出版对外贸易总公司

(北京 782 信箱, 邮政编码 100011)

Competent Authority: Department of Education of Fujian Province

Sponsor: Huaqiao University
(Quanzhou 362021, Fujian, China)
(Xiamen 361021, Fujian, China)

Edited and Published by Editorial Department of Journal of Huaqiao University (Natural Science)

Tel: 0595-22692545
E-mail: journal@hqu.edu.cn
Http://www.hdxh.hqu.edu.cn

Editor in Chief: WU Dongfeng

Distributed by China Publication Foreign Trading Corporation
(P. O. Box 782, Beijing, 100011, China)

刊 号: ISSN 1000-5013
CN 35-1079/N

代 号: 国内邮发 34-41
国外 NTZ 1050

国内定价: 8.00 元/期
48.00 元/年

ISSN 1000-5013



9 771000 501170