

# 压力分散型锚索单顶循环张拉法与差异化整体张拉法的对比研究及工程建议

易湘华 康佳

中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司 湖北 宜昌 443002

**摘要：**本文针对《DL/T 5083-2019水电水利工程预应力锚固施工规范》中关于压力分散型锚索张拉方法的条款在实际应用中的模糊性与执行难点，开展了深入的试验研究与对比分析。规范推荐采用单根循环分级张拉法，但未明确分级方式、循环次数及稳压时间等关键参数；同时，将差异化整体张拉法列为“需要较快实施张拉时”的备选方案。通过设计对比试验，本文系统评估了传统多级单根张拉法、改进型少级单根张拉法及差异化整体张拉法在锁定效率、施工耗时、钢绞线及锚具损伤、受力均匀性等方面的综合表现。试验数据表明：差异化整体张拉法在各项指标上均具有显著优势，其锁定效率高（平均  $\geq 98\%$ ）、受力均匀性好（偏心力极小）、施工效率高（耗时仅为传统方法的1/5至1/3）且对钢绞线及锚具的损伤最小。基于研究结果，本文明确提出：在工程实践中应优先选用差异化整体张拉法，并对单根循环张拉法的优化应用提出了具体建议，旨在为规范的后续修订和施工实践提供科学依据与技术支持。

**关键词：**压力分散型锚索；单根循环张拉；差异化整体张拉；锁定效率；偏心力；钢绞线损伤

## 1 引言

压力分散型预应力锚索因其能将集中荷载分散作用于不同深度的岩体中，能有效调动更大范围的岩体强度，尤其适用于软岩、破碎岩体等不良地质条件的边坡加固与洞室支护，在水电、交通、矿山等工程领域得到了广泛应用<sup>[2]</sup>。然而，由于其各根钢绞线长度不等，在张拉过程中如何确保所有钢绞线最终达到同步受力、设计拉力值，并实现高效锁定，一直是施工中的技术难点和关键质量控制点<sup>[3]</sup>。

现行的《DL/T 5083-2019水电水利工程预应力锚固施工规范》（以下简称《规范》）第5.7.5条第2款规定：

“分散性预应力锚索因钢绞线长度不等，宜采用单根循环分级张拉方式。需要较快实施张拉时，可采用差异化整体张拉方式”<sup>[4]</sup>。该规定在方向上给出了指引，但在具体操作层面存在以下不足：

1.1 对于单根循环分级张拉方式，未明确规定分级阶数、循环次数以及每根钢绞线在每级荷载下的具体稳压时间，导致现场执行标准不一，张拉质量存在不稳定性风险。

1.2 对于差异化整体张拉方式，虽简述了其步骤，但将其定位为追求速度的“备选”方案，这与部分工程实践中其表现出的综合优势可能不符。

1.3 在实际生产中，施工方往往面临质量、工期与成本的多重压力。若盲目遵循传统的多级单根循环张拉，可能陷入耗时冗长、质量却不理想的困境。因此，有必

要对《规范》中未明确的参数进行量化研究，并对两种张拉方式的优劣进行系统性对比，从而提出科学、合理、高效的张拉方案建议。

本文基于现场试验数据，旨在解决上述问题，为提升压力分散型锚索的施工质量与效率提供实践依据。

## 2 单根循环分级张拉方式的试验研究与优化探讨

### 2.1 传统多级单根循环张拉法及其弊端

传统施工中，多借鉴整体张拉的分级方式。本研究以某大型水电站边坡工程为背景，首先对传统方法进行了数据采集。该方法采用0.15（预紧）、0.25、0.50、0.75、1.00、1.10（超张拉）共6级加载，超张拉稳压  $\geq 10\text{min}$ ，其余各级稳压  $\geq 2\text{min}$ 。

随机采集的5组数据（见表1）显示：

锁定效率：在76.4%至86.2%之间，均未达到设计锁定力不小于95%设计荷载的要求，需进行二次补偿张拉。

偏心力：在196.8KN至325.6KN之间，表明各钢绞线受力极不均匀。

施工耗时：单束锚索张拉过程长达7至8.5小时，效率低下。

退锚检查：钢绞线损伤程度被评价为“严重”，夹片内收集到大量从钢绞线上刮蹭下来的钢粉。

表1 传统多级单根循环张拉试验数据

设计荷载 (KN)	2000	2000	2000	2000	2000
超张拉力 (KN)	2200	2200	2200	2200	2200

续表:

卸荷后测力计测值 (KN)	1654.6	1528.7	1723.5	1692.2	1710.0
偏心力 (KN)	325.6	226.5	196.8	212.9	300.6
卸荷后损失力	545.4	671.3	476.5	507.8	490.0
锁定效率	82.7%	76.4%	86.2%	84.6%	85.5%
张拉过程耗时 (h)	8.5	8	7.5	8	7

原因分析:传统方法的主要问题在于卸荷频次过高。每根钢绞线在达到最终锁定前,经历了多达5-6次的加载-卸荷循环。这一过程对钢绞线造成了显著的疲劳损伤,同时,夹片在多次咬合与松开的过程中,其锯齿会反复刮伤钢绞线表面金属基材,产生大量钢粉。这些钢粉滞留于夹片齿缝间,严重削弱了夹片对钢绞线的有效咬合与握持力,导致在最终锁定卸荷时,钢绞线产生较大的回缩量,锁定损失剧增,锁定效率因此大幅下降。

## 2.2 改进型少级单根循环张拉法及效果

为解决上述问题,在相同地质条件与材料下,尝试减少张拉级数的优化方案。新方案采用3级加载:0.20倍设计荷载单根预紧→1.00倍设计荷载单根张拉→1.10倍设计荷载超张拉后卸荷锁定。稳压时间标准不变。

优化后的5组试验数据(见表2)表明:

锁定效率:提升至95.4%至97.4%之间,一次性满足 $\geq 95\%$ 的设计要求。

偏心力:降至102.6KN至174.2KN,受力均匀性改善。

施工耗时:缩短至3至3.5小时,工效提升约一倍。

退锚检查:钢绞线损伤程度降至“较轻”,夹片内钢粉含量“较少”。

表2 改进型少级单根循环张拉试验数据

设计荷载 (KN)	2000	2000	2000	2000	2000
超张拉力 (KN)	2200	2200	2200	2200	2200
卸荷后测力计测值 (KN)	1908.6	1923.4	1916.2	1948.0	1933.8
偏心力 (KN)	162.8	174.2	102.6	98.6	152.7
卸荷后损失力	291.4	276.6	283.8	252	266.2
锁定效率	95.4%	96.2%	95.8%	97.4%	96.7%
张拉过程耗时 (h)	3.5	3.5	3	3.5	3

结论:通过减少张拉级数,降低卸荷频次,从而减轻对钢绞线和夹片的损伤,保证了夹片的洁净度和握持力,最终实现了锁定效率的跃升和工效的提高。这表明,在必须采用单根张拉时,优化后的分级方案对于保证张拉质量及工效提升确有优势。

## 3 差异化整体张拉方式的试验研究与优势分析

### 3.1 方法流程优化

本研究采用的差异化整体张拉法,在《规范》给出

的步骤基础上进行了微优化:

3.1.1 合并预紧与差异化补偿:将“分组单根预紧(0.15倍设计荷载)”与“分组荷载差异化进行单根张拉补足伸长值”两个步骤合并。即在计算得出各钢绞线的理论差异力后,将其与0.15倍设计荷载叠加,一次性采用单根张拉到位。通过这次优化进一步减少了单根张拉过程中的卸荷次数,对降低钢绞线损伤及有效保障夹片握持力提供了帮助<sup>[1]</sup>。

3.1.2 整体分级张拉:使用大千斤顶(又叫穿心顶)进行0.25、0.50、0.75、1.00倍设计荷载的整体分级张拉。

3.1.3 整体超张拉与锁定:进行1.10倍设计荷载的整体超张拉,稳压合格后卸荷锁定。

3.1.4 该方法的精髓在于:仅在初始阶段进行一次性的差异力补偿,以消除因长度不等造成的初始位移差,将绝大部分张拉荷载通过整体分级张拉一次性、同步地施加于所有钢绞线,避免了反复多次加载卸载循环对钢绞线的疲劳损伤及降低夹片咬伤程度,大幅提升了工效、锁定效率及锚索使用寿命。

### 3.2 试验结果与分析

在相同条件下进行5组试验,数据如下(见表3):

锁定效率:极高,在96.2%至100.2%之间,平均接近100%,表现极其稳定。

偏心力:极小,在9.2KN至57.8KN之间,证明各钢绞线受力达到了高度均匀。

施工耗时:极短,仅为1至1.5小时,效率远超单根张拉法。

退锚检查:钢绞线仅出现“轻微”损伤,夹片内钢粉含量“极少”。

表3 差异化整体张拉试验数据

设计荷载 (KN)	2000	2000	2000	2000	2000
超张拉力 (KN)	2200	2200	2200	2200	2200
卸荷后测力计测值 (KN)	1923.6	2004.8	1978.5	1992.0	1996.8
偏心力 (KN)	42.5	57.8	9.2	20.0	16.6
卸荷后损失力	276.4	195.2	221.5	208	203.2
锁定效率	96.2%	100.2%	98.9%	99.6%	99.8%
张拉过程耗时 (h)	1.5	1.5	1	1.5	1.5

优势原理分析:差异化整体张拉法的成功,核心在于其最大限度地减少了针对单根钢绞线的加载-卸荷循环。整体张拉时,所有钢绞线同步受力,锚具夹片在最终锁定前仅有一次有效咬合,极大地避免了反复刮蹭带来的钢绞线损伤和钢粉问题,从而确保了超凡的锁定效率和受力均匀性。同时,其施工流程的集约化带来了更高的效率优势。

#### 4 综合对比与工程建议

##### 4.1 三种张拉方式性能对比

为进一步清晰展示，将三种方法的平均性能对比如下（见表4）：

表4 三种张拉方式综合性能对比表

对比指标	传统多级单根张拉	改进型少级单根张拉	差异化整体张拉
平均锁定效率	83.1%	96.3%	99.0%
平均偏心力(KN)	252.5	138.2	29.2
平均耗时(h)	7.8	3.3	1.4
钢绞线损伤	严重	较轻	轻微
夹片钢粉含量	较多	较少	极少
推荐指数	★☆☆	★★☆	★★★★★

##### 4.2 对规范与工程实践的建议

基于以上研究，本文对《规范》的理解和后续修订，以及现场施工提出以下建议：

###### 4.2.1 优先选用差异化整体张拉法。

通过试验数据分析表明，差异化整体张拉法不仅在速度上，更在最终锁定质量、结构耐久性和受力性能上全面优于单根循环张拉法。建议《规范》修订时，可将此条的表述调整为：“压力分散型预应力锚索宜采用差异化整体张拉方式。当张拉空间或设备受限、整束张拉确有困难时，经论证可采用单根循环分级张拉方式。”这更符合追求工程终极质量的实际意义。

###### 4.2.2 优化单根循环分级张拉的应用。

当必须采用单根张拉时，应依据实际地质、材料、施工设备等条件，优先通过试验等科学手段论证以下两点的可实施性。

4.2.2.1 减少张拉级数：建议采用2至3级加载模式（如：预紧→设计张拉→超张拉锁定），避免不必要的多级循环。

4.2.2.2 灵活控制稳压时间：单根张拉时，施加于岩体的荷载远小于整体张拉，对岩体变形的稳压要求可适

当放宽。建议单根张拉每级稳压时间不小于1min，并在稳压1min后停泵观察压力表，若无掉压现象，即可进行下一操作，若有掉压现象，则继续稳压直至压力稳定后再进行下一操作，无须机械执行不小于某一固定稳压时间的限制，以此提升工效。

#### 5 结论

5.1 传统的多级单根循环张拉法由于卸荷频次过高，易导致钢绞线损伤、夹片握持力下降，造成锁定效率低、受力不均且耗时冗长，不是压力分散型锚索的理想张拉方式。

5.2 通过减少张拉级数对单根循环张拉法进行优化，可有效改善张拉质量与效率，使其在锁定效率上达到规范要求，是受限条件下的可行张拉方式。

5.3 差异化整体张拉法通过“一次性差异补偿+整体同步分级张拉”，从根本上克服了单根张拉的缺陷，在锁定效率、受力均匀性、施工效率和材料保护方面展现出全面、显著的优越性，应作为压力分散型锚索的首选张拉方式在工程中大力推广。

5.4 本文为《DL/T 5083-2019规范》相关条款的细化及优化提供了一些试验数据支撑和实践建议，希望具有积极的参考价值。

#### 参考文献

[1]张乐, 汪班桥. 压力分散型锚索作用机理与设计方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(S2): 4100-4108.  
 [2]赵健, 闫莫明, 徐祯祥. 岩土锚固技术的新进展[J]. 土木工程学报, 2015, 48(4): 1-10.  
 [3]程良奎, 范景伦. 岩土锚固[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.  
 [4]中华人民共和国国家能源局. DL/T 5083-2019 水电水利工程预应力锚固施工规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2019.