

# 浅谈锚索监测值与设计值不符的原因及应对措施

杨哲

湖南省地质灾害调查监测所

**摘要:** 本文根据现场实际施工情况,通过多方位的试验和专家论证,找到该项目锚索监测值与设计值存在较大差异的原因及应对措施,为后续锚索张拉到位提供有效的技术支撑。

**关键词:** 长沙机场; 限位板; 钢绞线; 预应力

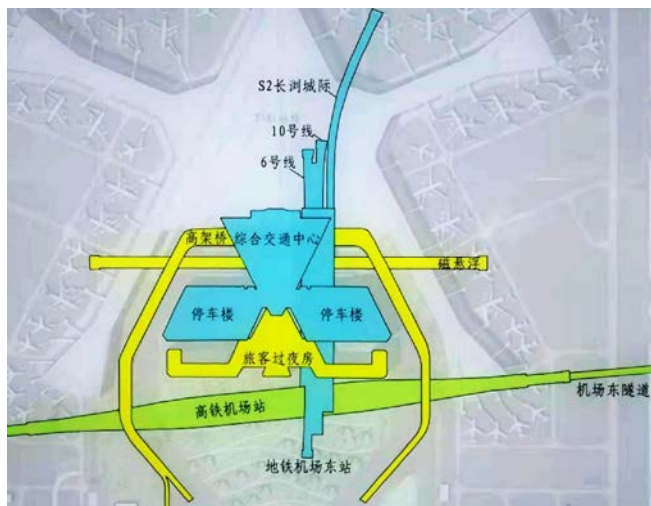
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.08.097

## 一、引言

为掌握支撑的设计轴力与实际受力情况的差异,防止支护体的失稳破坏,须对支撑结构中受力较大的断面进行监测。锚索测力计张拉到设计值,是锚索应力监测的重要条件。

## 二、工程概况

长沙机场改扩建工程综合交通枢纽工程包括地铁6号线、长赣高铁、磁浮东延线、高架桥等。磁浮T3站与地铁T3站“十”字型交叉及高铁机场站与地铁T3站十字型交叉,形成了30多个“坑中坑”,是目前国内已建、在建机场综合交通枢纽中,施工工况最为复杂的。



## 三、锚索张拉发现及解决问题全过程

在桩锚支护中,锚索利用一定的预应力主动制约土体变形和结构破坏,而预应力大小对锚索发挥主动制约作用与支护体系稳定至关重要。锚索应力监测是采用在初期支护的锚索上安装锚索测力计,通过测力计数据的变化,了解锚索实际工作状态及变形过程、受力大小和受力状态,评价锚索的支护效果及其安全性。

在实际工作过程中,经常发现锚索监测值和设计值出现严重不符的情况,对基坑监测工作产生较大影响。

长赣高铁机场站基坑最深达到约36m,锚索道数最多达到8道。锚索监测至关重要,锚索张拉到设计值更是重中之重。通过对长赣高铁机场站项目锚索张拉全过程的参与,对锚索张拉达到设计值有了全新的认识。

长赣高铁机场站为明挖段基坑,主体围护结构基坑长约1093m。该项目共计5个断面设计为桩锚区域,分别为3-3、6-6、8-8、10-10、14-14剖面,相关信息详见下表。



表1

序号	部位	锚索道数	锚索数量	锚索测力计数量
1	3-3剖面	8	408	16
2	6-6剖面	7	1014	28
3	8-8剖面	2	64	4
4	10-10剖面	7	264	10
5	14-14剖面	7	266	12

本基坑锚索最多达到8道,锚索钻孔直径 $\phi$ 为150mm,水平倾角为20度。采用 $1 \times 7 \phi S17.8$ mm钢绞线,强度为1860Mpa,梁外预留1.2m张拉使用。

锚索孔内采用二次高压注浆工艺,注浆采用素水泥浆,使用42.5普通硅酸盐水泥,按水灰比0.5~0.55配置的水泥浆注浆,注浆体强度等级为20Mpa。

锚索施工工艺主要如下所示:

放线定位→锚索钻机就位→钻进成孔→安放锚索→一次注浆→二次注浆(高压)→养护→安装腰梁、台座→安装锚头张拉锁定

### (一) 发现问题

在6-6剖面进行试张拉工作中,我们严格按照施工方案和规范对锚索进行张拉,待水泥浆体强度达到设计强度的75%(且强度不小于15MPa),对锚索进行张拉锁定。按照《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086-2015)预应力设计值 $N_t = 1.25 \times 1.1 \times N_k$ ( $N_k$ 为轴向拉力标准值),为保证锚索质量,施工安全张拉不宜超过 $1.2N_t$ ,分5级单循环缓慢匀速(加载速率不宜大于 $0.1N_k/\text{min}$ )逐级加载至10%、40%、60%、80%、100%。锚索测力计读数与设计值相差较大,只有设计值的1/3。

虽然在工作中经常遇到监测值与锚索设计值相差较大的问题，但只达到设计值1/3的情况并不多见。为排除设备自身的问题，对锚索读数仪、锚索测力计、千斤顶和千斤顶液压表重新送至第三方单位进行标定，经检测合格。

为最大程度张拉到设计值，减少误差，我们根据以往的经验采取以下措施：

- (1) 锚索测力计安装基面与钻孔方向相互垂直（超过该偏差范围的安装，将会导致锚索张拉过程中出现在垫板上产生滑移、测值失真或测值偏小的现象）。
- (2) 安装锚索测力计的承载基面稳定可靠，承载垫板的厚度达到要求（若厚度不够将会使锚索测力计受力不均匀造成测值偏小）。
- (3) 预张拉（减少由于成孔偏移和孔内部分土体塌落等因素影响，钢绞线在孔内不顺直，且个别地方有次应力产生造成的少张拉情况）。
- (4) 力求使压力表的安装位置与锚索孔口在同一高程位置上或尽量减少两者的高差。

在规范操作的基础上，一定程度上增加了锚索监测值（增大最大达到12%）。但监测值并未得到明显改善，仍然达不到设计要求。

(二) 试验分析

(1) 经过讨论学习及专家建议，决定对该项目进行工艺改进。该项目锚索张拉是按传统模式，即采用“锚垫板+工作锚（带夹片）+工具锚+千斤顶”的方式，并未采用限位板进行锁定，有可能对结果产生影响；现在采用“锚垫板+锚具（带夹片）+限位板+千斤顶”的施工工艺，通过试验比较两者的差异性。

限位板就是在张拉过程中起到固定锚具夹片的作用，适当的限位距离（限位板的槽深）可以使锚具回缩量达到最小。使用工作锚张拉，如果锚索未达到设计锚固力时就提前锁定，后续加载过程中锚索自由段受力增幅较小，大部分力加载到千斤顶与锚具之间的钢绞线上，导致锚索预应力未达到设计值。

我们制作从6mm~15mm不同深度的限位板，用不同深度的限位板进行试拉，试验结果为限位板深度小的加载时压力表和应力计的读数成2倍关系。千斤顶加载至Nt时，应力计还是没有达到设计值，稳压卸载后预应力损失严重。限位板深度大的加载时压力表和应力计的读数基本误差不大。当采用9.5mm的限位板，超张拉至1.2Nt稳压卸载后预应力达到设计要求，不过同样存在部分预应力损失。

张拉实验数据表

最先进场锚具张拉数据				后期采购锚具张拉数据				项目采购锚具张拉数据（一）				项目采购锚具张拉数据（二）			
MS-FG-NI-56 9.5mm限位器				基础锚具新买锚具 7.5mm限位器				项目部锚具 11mm限位器（湖南远俊）				项目部锚具 8mm限位器			
逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm
10	5.7	7.1	39	10	4	10.15	42	10	7.3	2.98	35	10	33.2	102.81 (0)	44
40	12.1	26.71	43	20	10.4	17.44	45	20	10.7	16.93	42	20			
60	17.9	39.37	44.5	40	26.7	33.66	47	40	14.3	33.97	44	40	72	146.32	47
80	24.5	52.41	46	60	42.8	51.34	55	60	31.6	51.16	46.5	60	100	164.88	51
100	32.1	66.19	48	80	59.1	68.23	6	80	49	68.69	48.5	80	111	170.83	54.5
超张	55.4	89.24	52	100	76.5/72.5	85.8	66	100	70.5	85.5	52	100			
10min恒压卸载	40.6		46	10min恒压卸载	30.8			10min恒压卸载	24			10min恒压卸载	61.7		
预应力保留	0.73			预应力保留	0.42			预应力保留	0.34			预应力保留	0.56		
MS-FG-NI-57 9.5mm限位器				基础锚具 6.5mm限位器				项目部锚具 10mm限位器				项目部锚具 6.5mm限位器			
逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm
10	3.5	6.72	42	10				10	24.7	9.24	38	10	1.5	8.2	46
40	13.5	26.46	45	20	41.1	39.21	35	20	26.8	18.88	38.5	20	8.3	18.88	48
60	18.3	39.75	46	40	60	52.12	36	40	38.7	34.38	39.5	40	11	34.32	55
80	22.1	52.74	48	60	42	52.12	36	60	48.6	51.03	40.5	60	18.33	50.5	56
100	28.7	66.21	51	80	64.1	68.34	38	80	53	68.1	41.5	80	25.63	68.25	56.5
超张	55.4	86.42	61	100	73.3/71.6	85.31	40	100	73.7	85.38	43.5	100	36.66	85.64	58
10min恒压卸载	40.3			10min恒压卸载	37.5			10min恒压卸载	30			10min恒压卸载	30.15		
补压	60.4	100.13	62	预应力保留	0.52			预应力保留	0.4			预应力保留	0.8		
10min恒压卸载	44.1			基础锚具 6mm限位器				项目部锚具 9.5mm限位器							
补压	64.4	96.58	63	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm	逐级加载	测试仪KN	压力表KN	位移mm				
10min恒压卸载	46.2			10				10	32.9	8.64	37.5				
预应力保留	0.72			20	32	32.43	39	20	35.3	18.36	38.5				
				40	39.2	52.19	40	40	48	33.83	39.5				
				60	43	68.48	41	60	65.9	51.08	40.5				
				80	49.3	85.79	42	80	69.7	68.15	41.5				
				100	65.4/64.7	94.01	43	100	84.9	85.7	44.5				
				10min恒压卸载	39.1			10min恒压卸载	34.2						
				预应力保留	0.6			预应力保留	0.4						

经过多次实验数据结果分析，把限位板深度控制在9.5~10mm时，它的预应力损失最小且效果最优。在3-3剖面进行实验对比，从下图实验数据结果发现9.9mm限

位板张拉，锁定稳压10min卸载后预应力的损失是最小的，并且预应力满足设计要求。

基础锚具 9.9mm限位器 (3-3北侧) NT=85.25KN		
逐级加载	测试仪KN	压力表KN
10	13.7	9.1
20	20.5	16.9
40	39.3	34.2
60	53.7	51
80	69.5	68.3
100	84.4	85.1
超张	99	102.5
10min恒压卸载	60.8	
预应力保留	0.61	/
超张力/设计力	/	1.2
超张力/锁定力	/	1.67

基础锚具 9.9mm限位器 (3-3南侧) NT=85.25KN		
逐级加载	测试仪KN	压力表KN
10		
20		
40		
60		
80		
100	36.8 (稳压后33)	85
第二次张拉	74.8 (稳压后52.6)	84.2
	82	100
10min恒压卸载	61.3	
预应力保留	0.74	/
超张力/设计力	/	1.17
超张力/锁定力	/	1.63

(2) 由于锚具、夹片、钢绞线不配套，会造成预应力损失。为了证实现场17.8mm钢绞线与锚具、夹片不配套问题，分别从不同的厂家采购四个锚具、夹片（锚具的外形尺寸以及夹片外漏长度不相同），用不同限位板与这些锚具依次进行实验比对，结果发现预应力损失较大。经过设计单位计算出图，我们于6-6剖面北侧实施了3根有配套标准锚具、夹片及限位板的15.2mm钢绞线锚索，待水泥浆强度达到设计要求后，进行张拉作业。三组张拉数据如下图，可以非常直观的看出锚索钢绞线经预张拉后，逐级加载后压力表和压力计读数偏差不大，且稳压卸载后预应力损失不大，且均满足设计要求。因此得出结论17.8mm钢绞线张拉锁定时在锚具与夹片处发生较大锚固损失。

1		
逐级加载	锚索计	压力表
20	3.1	24.8
40	32.2	32.6
60	48.6	53
80	65.4	63.2
100	81.6	80.7
120	98.36	92.5
稳压10min	72.6	/

2		
逐级加载	锚索计	压力表
20	8.6	18
40	17.8	34.8
60	42.2	52.1
80	70	70.1
100	86.2	90.7
120	96.5	97.8
稳压10min	74	/

3		
逐级加载	锚索计	压力表
20	5.5	15
40	32.4	34.8
60	48	52.1
80	65.1	70.1
100	81.4	90.7
120	97.2	102.4
稳压10min	86	/

### (三) 解决问题

经过大量的实验分析及专家论证，发现造成预应力损失的原因是由于锚具、夹片、钢绞线不配套。预应力损失由两部分组成，第一部分是在张拉过程中限位板顶住夹片，使夹片与钢绞线之间产生摩擦，导致千斤顶的力为测力计的1~1.5倍；第二部分是卸载后钢绞线回收夹片不能及时卡住钢绞线的预应力损失，约损失30%~50%。通过上述损失累加，造成千斤顶的张拉力为最后测力计的2.5~3倍。

施工现场采取如下措施：

(1) 采取9.9mm的单孔限位板进行单股锚索的张拉，每个剖面各道锚索正式张拉之前选取3根锚索（装测力计）进行试验数据采集，满足上述要求后可大面张拉；

(2) 施工单位在现场施作3根15.2mm的预应力锚索进行对比试验；

(3) 张拉过程中采用张拉力和伸长值（轴力计力对应的伸长值）双控；

最后，经过各方共同努力，现场锚索测力计张拉均达到设计值。

### 结论

1. 由于测力计与千斤顶液压表本身属于两个不同的工作系统，在实际操作中会导致锚索张拉值与监测值之间总是存在一定的差异。

2. 规范锚索施工工艺（张拉过程中安装限位板）在施工中具有实际意义，可以减少预应力损失。通过不同凹槽深度的限位板张拉试验，确定适合该项目的最佳限位板。

3. 通过试验和计算找到适合本项目的最佳直径的钢绞线、锚具、夹片，对锚索张拉过程中减少预应力损失有重要意义。

4. 预应力锚索张拉时，为防止锚固力锁定值偏低，可采用超张拉工艺。但需控制其张拉范围。

### 参考文献

[1] 王首智, 田华, 张卢明. 预应力锚索张拉过程中限位板的重要性 (J). 南水北调与水利科技, 2017, 15 (A02)

[2] 韩光, 朱训国, 王大国. 锚索预应力素食影响因素分析及其补偿措施 (J). 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2008.27 (2)

[3] 孙允弟. 浅谈锚索预应力损失原因及应对措施 [J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2012 (14)

[4] 罗雨, 陈锐, 李艳芳, 廖燕. 锚索预应力张拉值与监测值差异原因差异分析 [J]. 建筑设计管理: 2022 (14)