

晋泉对圣母殿木构架变形的影响和 泉水流量下降原因的初步分析

陈国莹 张金贵

晋祠位于山西太原市西南郊 25 公里的悬瓮山麓，地处晋水源头，这里山环水绕古树参天，殿宇坐落苍松翠柏之间，不仅风景宜人而且有悠久的历史和丰富的文化遗产，也是全国重点文物保护单位。

“晋祠”早在北魏酈道元的《水经注》中就有记载：“际山枕水，有唐叔虞祠，水侧有凉堂，结飞梁于水上。”《史记·晋古泉》中也记载：“周武王之子成王诵，封同母弟叔虞于唐，叔虞的儿子燮，因境内有晋水，改国号为晋，后人为奉记叔虞在此修建祠宇，称唐叔虞祠。”这座古老的庙宇曾屡经修缮，直到宋仁宗赵桢于天圣年间（公元 1023 ~ 1032 年）追封唐叔虞为汾东王，并为其母邑姜修建了规模宏大的圣母殿。以圣母殿为主的建筑群逐步形成，而唐叔虞祠在建筑群体中反而居于次要位置了。现存圣母殿为宋崇宁年间（公元 1102 年）重修，是晋祠中规模最大的一座宋代建筑。这座面阔七间进深六间重檐歇山顶的古建筑，反映了宋代高超的建筑技术，它坐落在悬瓮山麓的基岩上，泉水由殿下岩石裂隙中流出而注入鱼沼，形成晋祠三大名泉之一，飞梁横跨其上，相互陪衬，浑然一体，构成了晋祠中的最佳景区。圣母殿内保存有 43 尊宋塑侍女像，塑工高超，形象逼真，是我国彩塑艺术的杰作。这座宋代建筑圣母殿，鱼沼飞梁、彩色泥塑和金建献殿等，对我国古代建筑技术和雕塑艺术都有重要价值。

晋祠盛名久远，有内外八景，山光水色使人陶醉。如今鱼沼、善利二泉已枯竭，鱼沼无鱼，莲池无花，渠内杂草丛生，更为严重的是圣母殿下的泉水干涸，基岩变质，大殿基础发生不均衡沉降，大殿的木构架已变形，如有意外的震动将会使保存至今的宋代建筑毁于一旦。根据多年的水文资料对晋泉作了分析，并试图找出泉水变化与圣母殿变形的关系。

一、圣母殿历年的变形

圣母殿坐落在晋祠——交城大断层的断裂带上，处在太原盆地的边缘，历经 800 多

年的变迁至今较完整的保存下来确实难得。自崇宁元年重修后经元大德七年地震,附近建筑物大部分毁坏,但圣母殿安然无恙,只出现部分构件拨榫现象,明万历四十年曾修缮加固,直到今日没经过大修,这次塌地工程中对圣母殿的变形进行了观测,同时与1963年观测资料进行了比较,发现了一些新的情况。现分述如下。

(一) 平面变形

1) 圣母殿四周围廊,即宋《营造法式》副阶周匝制度,是唐代以后用四周围廊的最早实例。圣母殿廊柱柱顶石位置不在一条直线上,前廊柱向外闪出(向东),北山廊柱向内闪(向南)成一条弧线,而前廊柱更为明显。但向东平移程度不一致,以4号柱移动最大为15厘米,南半边比北半边更为严重,而北山廊向南平移,以十号和八号柱子向里位移最大为24厘米,后檐柱顶基本上成一直线;南廊柱和北廊柱相对位置的24号和25号柱向南移,出现微向南的一条弧线,这种柱子排列的形式不符合建筑平面布局的一般规律,是受外力作用下发生的形变。

2) 另一现象是柱根不在柱顶石的中线上,柱子发生平移,前廊柱比较明显。

3) 柱顶石高度不一致,前檐南半边的柱顶石与其他柱顶石形制不同,可能是维修时更换的,比一般柱顶石高。但原有的柱顶石也发生高低不一致的现象,有些柱顶石明显出现了下沉现象,经抄平发现4号、5号、23号、24号柱顶石下沉较严重,尤其5号柱顶石呈现不均匀下沉,南低北高,相差3厘米。

4) 这次塌地经过抄平发现殿基不在一个平面上,西北高东南低,台基的西北角比东南角高21.5厘米,殿内也是同样情况,北面比南面高15厘米。根据古建筑地面工程的一般规律,殿内地面应当是中间高两边略低,廊内地面应做出泛水,圣母殿的实际情况则不然,这种现象和圣母殿变形有关。

(二) 梁架变形

圣母殿为面阔七间进深六间平面近方形重檐歇山顶,内檐深三间前廊为两间,用减柱造。室内有较大活动面积,但也造成梁架变形的集中点,柱子倾斜较为明显,前廊4号柱向东南方向倾斜最严重,向东倾斜14厘米向南倾斜11厘米,3号柱向东倾斜12厘米向南倾斜9厘米,金柱倾斜最明显的为2号柱,向东倾斜33.5厘米,向南倾斜22厘米,使整个建筑框架向东南方向倾斜,稍间直棂窗也随之变形。前檐柱头斗拱后尾扭转,前廊的乳袱前后均不在一条直线上前后相差很多,从2号童柱——金柱柱头看,童柱向南偏移了37.5厘米。由于金柱向东倾斜致使水平构件出现翘起或向下弯曲,这种

弯曲不是受压所致,而是水平力的作用。圣母殿的两山及后檐墙出现不同程度的裂缝,说明包在墙内的柱子亦有下沉现象。

从整体观测发现圣母殿已向南倾斜,我们用上海 620511 经纬仪观测了圣母殿整体的变形,发现正脊部位已向南平移了 15 厘米,头层檐位置向南平移了 14 厘米,说明框架结构全部向南移动,由于周围建筑及树木遮蔽无法观测山面移动情况,从柱子倾斜方向和数值分析必然向前(向东)倾斜。实际圣母殿的变形是受东、南方向力作用下的剩余形变。

(三) 1980 年和 1963 年变形比较

1963 年曾由山西省文管会古建组进行一次观测并记录了当时变形的情况,时隔十几年发现有不同程度的新变化。在这十几年内晋祠泉水的变化情况也很大,泉水的干涸直接威胁着圣母殿的安全。1980 年我们又做了对比观测,发现柱顶石不同程度有了位移,前廊柱柱根移动趋势继续向东平移 5 厘米左右,北廊柱移动趋势向南平移最大数值为 3 厘米,后檐金柱柱头也有不同程度的变化,柱子的倾斜也有新变化。因 1963 年只观测了北廊柱的变化,所以现在只能比较 7 ~ 13 号柱的变化幅度,其变化趋势是继续向东平移 3 厘米左右,9 ~ 12 号四根柱子继续向前倾斜最大数值为 15 厘米,个别柱子向相反的方向变化。前檐金柱中向东南倾斜最严重者为 33.5 厘米,其余柱子因 1963 年没有观测,所以无法比较其变化程度。根据《宋营造法式》卷五柱“凡立柱并令柱首微收向内,柱脚微出向外,谓之侧脚,每层正面随柱之长,每一尺^①即侧脚一分,若侧面每长一尺侧脚八厘。”的做法,圣母殿前檐角柱高为 410 厘米,侧脚应为 4.1 厘米,实际测得檐柱分别向南倾斜为 3 ~ 15 厘米,以 3 号柱向南倾斜 9 厘米和 7 号柱向南倾斜 15 厘米为最严重的,都超出了法式规定的范围。明间金柱柱高为 732 厘米,角柱高为 792 厘米,侧脚应为 7.9 厘米,但实测向南倾斜为 22 ~ 26.5 厘米,以三号柱子最为严重,向东倾斜最多为 33.5 厘米,按法式规定金柱微向南或北收 7.9 厘米,使两次间及两稍间各向内收形成侧脚,故现存实物的倾斜已超出侧脚的范围,说明柱子都已发生较大的变形。

从以上柱子倾斜的方向和数值的大小看,圣母殿在十几年中是逐渐向东南方向倾斜,同时整个建筑是向东南方向移动。促使这座古老建筑发生变形,其原因是多方面的。

圣母殿的变形不同于一般古建筑的损坏,从目前的梁架看基本完好,除明万历四十

^① 指“宋营造尺”,1 营造尺 = 32 厘米。

年曾加固一次后一直没有经过大修，明代只将瓦顶进行过翻修，所以殿母殿仍然保存着宋代建筑的风格和手法。圣母殿出现的一些变形应是多年积累下来的剩余形变，整个框架的倾斜是由于受外力作用所致。

古建筑的损坏和变形有局部和整体的，局部变形在古建筑中发生的较为普遍。例如角梁后尾翘起、檐头下沉、檩子滚动、大梁弯曲、部分构件拔榫等，这些多是由于建筑结构上存在着某些弱点而造成，也有因基础处理不好而发生不均匀沉降，致使建筑歪闪。但局部变形往往影响整体的结构，所以两者是统一的，从已得资料分析圣母殿这座建筑变形，应是整体变形为主。其原因如下。

1. 地震力

晋祠所在的太原盆地处于汾渭地堑的北段，汾渭地堑是地震活动较频繁的地震带，宋以来能够影响圣母殿的地震尽管很多，但都没有能够使圣母殿遭到毁坏，其修葺史足以说明这一点。所以圣母殿柱子的位移和倾斜并有优势方向，是受地震力的影响，但不是主要因素。

2. 新构造运动的影响

晋交断裂带正处在太原盆地的西边缘，圣母殿在晋交断裂的上盘，从地貌看西高东低。晋祠地震台站于明仙沟布了一条东西向长 500 米的观测线路，设了三个观测点。第一点在基岩上，第二点在断层处，第三点在盆地，正好与圣母殿在一条线上。另外，南北长 500 米观测线上的第五点正好处在圣母殿后。晋祠庙内虽没有设立观测点但从第 5 号和第 3 号的数据就可以看出圣母殿的状况，1976 ~ 1979 年一直以 0.5 毫米/年速度在变化，而 79 年比以往速度要快，是以 1 毫米/年的速度在变化，说明这一断裂带是处在活动期，而圣母殿正处在这一活动带上，必然导致建筑发生变形。圣母殿的变形方向也和地层的变动方向是一致的，向东南方向滑动，而且往东南方向滑动的速度比南北方向快。不难看出圣母殿柱子歪闪，柱顶石的不均匀下沉以及柱顶石位移和地面高低的变化等都在受地层变化的影响。

3. 建筑物基础的变化

中国古代建筑的基础、木构架和屋顶是三个主要组成部分，尤其建筑物的基础，古人是非常重视的，有些建筑早已湮没，但夯土基础可保留数百年之久。晋祠圣母殿的基础应当是坚固的，但饱水的奥陶纪石灰岩突然失水以后，其强度会有很大的改变，尤其是喀斯特发育的地区，常年饱水溶洞四壁不易风化，饱水而突然失水的溶洞四壁，风化速度可能非常快，所以晋祠泉水流量的减小和干涸应是使坐落在奥陶纪石灰岩的圣母殿

发生变形的主要原因。

二、晋泉天然动态变化规律

历史上关于晋泉的记载最早见于《山海经》“悬瓮之山晋水出焉。”据“周封叔虞于唐”的记述晋祠是唐叔虞侍奉其母邑姜而得名,可见晋祠早在周以前就有人在此活动。人对晋泉水的利用,在《太原县志》、《晋祠志》和《晋水志》中都有记载。“始自汉元初三年,春正日甲戌修理太原四沟渠灌溉私田”,酈道元《水经注》中也有“因智伯遇晋水灌晋阳之遗迹,而蓄以池沼者也……”晋祠泉水的灌溉范围,历史上记载北至金胜、董茹村南下清徐。新中国成立前灌溉稻田 30000 亩,新中国成立后扩大到 40000 亩。唐朝诗人李白曾乘舟从晋阳到晋祠游览,写下“晋祠流水如碧玉”的诗句,可见当时流量相当可观。1933 年山西省水利委员会实测流量为 70 立方英尺,约为每秒 2 立方,1942 年 10 月 1 日测每昼夜 17 立方米,约为每秒 2 立方米;1954 ~ 1958 年实测泉水最小流量为 $17.15 \text{ 米}^3/\text{秒}$,最大流量为 $2.18 \text{ 米}^3/\text{秒}$,平均年内变化幅度为 $0.208 \text{ 米}^3/\text{秒}$,最小流量一般出现在 6 ~ 9 月,最大流量一般出现在 10 ~ 12 月。1954 ~ 1958 年平均流量 $1.944 \text{ 米}^3/\text{秒}$,枯水期 4 ~ 7 月,丰水期 9 ~ 12 月,其过程基本上是一平线,可见晋泉是一个稳定性泉。20 世纪 50 年代工农业尚未大量开发西山地下水水源,实际 50 年代测得的流量变化状况应代表晋泉动态变化规律。

三、泉水变化的原因

20 世纪 50 年代初期翻修献殿时,泉水很大,从鱼沼飞梁下面石柱上的水印观察,飞梁水位一直保持在 0.95 ~ 1.3 米之间,鱼沼池内泉水清澈,水草茂盛金鱼川流不息,莲花池内子午莲盛开,小溪流水弯弯曲曲一派江南景色。晋水三泉畅流几千年,到 60 年代后逐渐下降。1966 年最小流量为 $1.360 \text{ 米}^3/\text{秒}$,此时已具有枯竭的危险,其原因有自然因素也有人为因素。自然因素对晋泉的影响:一是降雨量的多少,二是地震活动的情况。降雨是地下水补给的主要来源,降雨量和晋泉流量密切相关。据 1966 年太原市城建局分析结果,“泉水流量变化与前三年的平均年降水量有很大的相关关系”。按前三年平均降水量与泉水年流量计算相关系数为 0.971,按前 3 年半年平均降水量与泉水年流量计算,相关系数为 0.946,可见晋泉流量之稳定是由于受多年降雨控制调节的,将 17 年全年观测的雨量资料进行降水平均值计算,可以看出 60 年代、70 年代都比 50 年代降雨量多,而晋泉的流量却是从 60 年代后逐渐下降,从而推断晋泉流量下降,鱼沼、善利二泉的干涸不是因降雨少而造成的。

地震活动影响着地质构造的变化,有可能引起泉水水位上升或下降,流量增大或减小。根据地震资料分析,从山西省五级以上的大震涉及晋祠附近的记载看,都没有谈到晋泉因地震而发生的异变,鱼沼、善利二泉也没有因地震而干枯。

人为因素是泉水流量下降的原因之一。随着工农业生产的发展,太原西郊又是工业区,20世纪60年代后期先后在西边山前地段打井,尤其1972年后在该地区开采地下水,以晋祠为中心北至风峪沟,南至清徐西梁,东以太汾公路为界,西至山前范围内。从1960~1978年在该地区工农业打深井58眼,开采设计能力为 $3.2923\text{ m}^3/\text{s}$ (其中开采奥陶系含水层深井36眼,开采能力为 $2.5713\text{ m}^3/\text{s}$;开采石炭系和第四纪冲积扇含水层的深井22眼,开采能力 $0.21\text{ m}^3/\text{s}$)。从多年积累的资料分析确实因在上流开采地下水,对晋泉水位及流量都有影响。晋泉的流量由1954年的 $1.96\text{ m}^3/\text{s}$ 降到1978年的 $1.322\text{ m}^3/\text{s}$ 。再从鱼沼池的泉水来看,它于1975年时实际已变成一潭死水。由于泉水蒸发,现在池内已干枯,因而我们认为人为因素对晋泉流量起着主导作用。

在市有关单位的协助下,我们曾于1979年12月进行100天的观察。停开101号、102号、103号机井,记录观察晋泉的流量及鱼沼水位情况,收到一定的效果。但时间维持不久,流量突然下降,原因何在?又向我们提出了新的问题,最初只注意到上流打深水井问题,而忽略了下流方向的打井问题。

晋祠位于石千峰大向斜东翼,太原盆地和晋交大断裂的交接地带,区内褶曲和断裂构造规模较大的为石千峰向斜和古交断裂带,王封断裂带、晋交断裂带。石千峰向斜为一平缓开阔的褶曲,晋交断裂沿西边山前向南至交城一带呈S形,起天然隔水屏障作用。区域地貌特征呈北、西、南三面高东南低,像簸箕状,晋祠一带断裂比较发育,其构造为新华夏系压扭性为主的逆断裂,奥陶系石灰岩溶洞发育。由于晋交大断裂的阻隔,以王封地垒以南太汾公路以西,至交城太原西边山前二公里范围地带都是寒武奥陶系石灰岩区域,也是地下水的排泄带。地下水经流方向是北北西—东南,晋泉是地下水排泄带上的天然排泄中心点,也是富水带上的天然排泄点。因为在悬甕山明仙沟有两条东西向的小断裂构造,北西向来的地下水经流受阻上升,大部分沿断裂间隙溢出地表,形成天然泉水,小部分继续向东南方向往下运动至平泉受阻,由于平泉——交城地势高,地质构造翘起,造成了地下水的封闭状态,形成平泉地下死水湖。地下水或储蓄在中奥陶系石灰岩溶洞中或再反流回晋祠溢出地表。

正当关闭101号、102号、103号三眼机井时,晋泉流量增加,几天之后突然下降,这时在清徐平泉正开凿自流井,与国家记录时间正好吻合。平泉地处晋祠下游10公里,两地都在晋交大断裂带上。他们是同一个水文地质单元,主要表现在以下几方面。

- 1) 地震构造一致,倾斜方向一致,只不过是中奥陶系在平泉埋深比晋祠深一些。
- 2) 地下水补给来源都是同一个因素。

3) 富水形成原因一致, 都是由于晋交大断裂的阻水作用, 在西边山前形成一条带状的富水区。平泉、晋泉都同处于这一富水带上。

4) 地下水经流方向一致, 地下水走向北北西—南东。

1978 年开始在平泉大量开发中奥陶系地下水, 使封闭状态的地下水大量开放, 好像打开了地下湖最低溢洪道, 势必急骤降低地下水位, 袭夺由晋祠溢出的地下水部分, 加快增大地下水向东南的经流部分, 造成晋泉突变。晋泉每年都按一定规律变化, 唯独 1978 年发生突变, 因而打乱了晋泉动态规律。

晋泉天然动态变化规律特征是每年从 8 月开始回升, 翌年 3 月开始下降。1971 ~ 1977 年秋冬工农业机泵停抽泉水, 晋泉水量都回升的相当可观, 这是 20 世纪 70 年代动态变化的实际情况。在这样条件下, 1975 ~ 1978 年降雨量逐渐增多, 从 1977 年 12 月停了化工区 101 号、102 号机泵, 泉水得到回升, 1978 年除在平泉打成自流井外, 西边山前一带没有再增加新井。根据 1977 年 12 月回升观察记录停 101 号、102 号机泵晋泉流量回升到 $1.5 \sim 1.7 \text{ 米}^3/\text{秒}$, 而 1978 年晋泉流量不但没有回升反而下降至 $0.605 \text{ 米}^3/\text{秒}$, 那就完全是因为平泉开发中奥陶系地下水造成的了。目前平泉每开成一眼自流井都会使晋泉流量大幅度下降, 它的水头传递很快, 48 小时之内就可以影响晋泉, 说明平泉、晋泉之间水的补给关系非常密切, 可以说平泉自流井的水量大部分是袭夺晋泉的。

综上所述, 使晋泉流量恢复到 20 世纪 50 年代的水平, 使鱼沼、善利二泉重新出水, 使晋祠风景恢复青春, 使珍贵的古建筑能有保障, 并不是做不到的事。只要我们以科学的态度尊重客观事实, 进一步探讨泉水的去向, 合理封闭晋祠到平泉一带的深水井, 使平泉地下湖恢复本来面貌, 那么晋泉流量也就恢复了。同样是这些水, 如果晋泉流量恢复到 $1.8 \text{ 米}^3/\text{秒}$, 泉水仍可从鱼沼流出, 也就有利于古建筑的保护, 有利于发展旅游事业, 同时也兼顾到工、农业用水。

如果不顾大局, 各自采发地下水, 破坏水的流经方向, 破坏自然的平衡规律, 其结果是有丰富的地下水资源得不到合理的综合利用。

综上所述, 提出以下三点意见:

1) 圣母殿木构架的形变, 主要与晋泉流量减小, 基岩发生变化, 产生不均匀沉降有关。

2) 晋泉流量减小主要是平泉开采地下水的影响。

3) 恢复晋泉流量, 必须在有计划的控制晋祠周围深井采水的同时, 封闭平泉——交城沿山一带的有关机井。恢复平泉地下死水湖, 迫使地下水由晋祠流出地面。